

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ПО ВИКОНАННЮ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ «ДОСЛІДЖЕННЯ
МОЖЛИВОСТІ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ»**

З КУРСУ

«ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ»

**для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 141**

Харків

2019 р.

Методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи «Дослідження можливості бездротової передачі електричної енергії» з курсу «Вступ до спеціальності» для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 141 / Уклад. В.О. Бондаренко, Д.О. Данильченко, О.В. Собченко – Харків, НТУ «ХПІ», 2019. – 20 с.

Протокол №5 від 10.12.2019

Укладачі:

д.т.н. Бондаренко В.О.

к.т.н. Данильченко Д.О.

Собченко О. В.

Рецензент к.т.н. Довгалюк О.М.

Кафедра «Передача електричної енергії»

Мета роботи: ознайомлення з можливістю бездротової передачі електричної енергії, способами передачі, переваги і недоліки кожного з видів бездротової передачі.

1. Види і способи бездротової передачі електричної енергії.

Поняття «бездротова передача енергії» є збірним терміном, який відноситься до числа різних технологій для передачі енергії за допомогою електромагнітних полів. Такі технології, перш за все, характеризуються відстанню, на яке вони можуть передавати потужність з максимальною ефективністю, а також використанням типом електромагнітної енергії: електричні і магнітні поля що змінюються в часі, радіохвилі, надвисокочастотне (НВЧ) випромінювання і видимі світлові хвилі.

Бездротова передача енергії стосується численного розмаїття сфер застосування. Останнім часом, як виробник, так і споживач спрямували свою увагу на можливість бездротової передачі енергії в установках, націлених на масового споживача, зокрема, на технологію бездротової зарядки акумуляторів.

У загальному понятті, розглядаючи будь-який з методів бездротової передачі енергії, можна однозначно сказати, що схема здійснення передачі енергії заснована на передавальному елементі (антена або пов'язані котушки), підключеного до джерела живлення, і приймаючому елементі, підключеного на навантаження. (Рис. 1)

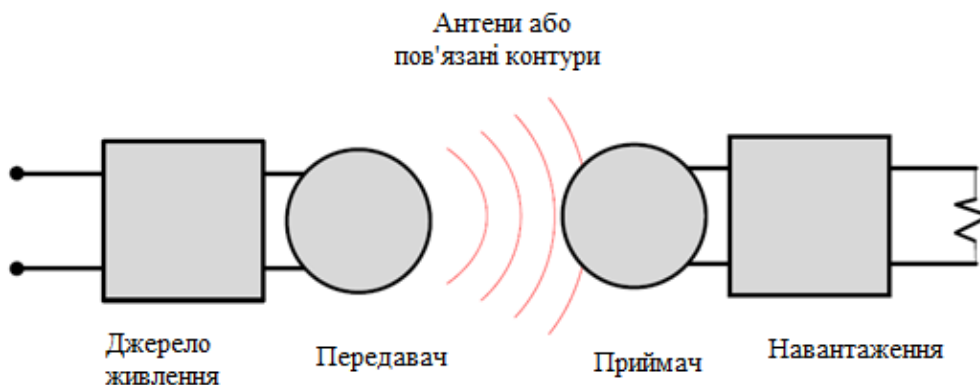


Рисунок 1 - схема передачі енергії бездротовим способом

Розглянемо, на яких фізичних процесах засновані основні методи бездротової передачі електроенергії.

Метод електромагнітної індукції

У цьому випадку використовується електромагнітне поле. Завдяки явищу взаємної індукції, на вторинній обмотці пристрою створюється наведений струм з первинної обмотки. Для ефективної взаємодії необхідно близьке розташування обмоток, тому що в противному випадку велика частина енергії поля марнується. Описаний пристрій являє собою знайомий всім трансформатор. Дійсно, раз обмотки не пов'язані фізично, то електрика передається бездротовим способом (рис. 2). Застосовується даний спосіб для зарядки мобільних пристроїв, медичних імплантатів і електромобілів. Крім того, метод знайшов застосування в технологіях радіочастотної ідентифікації (RFID).

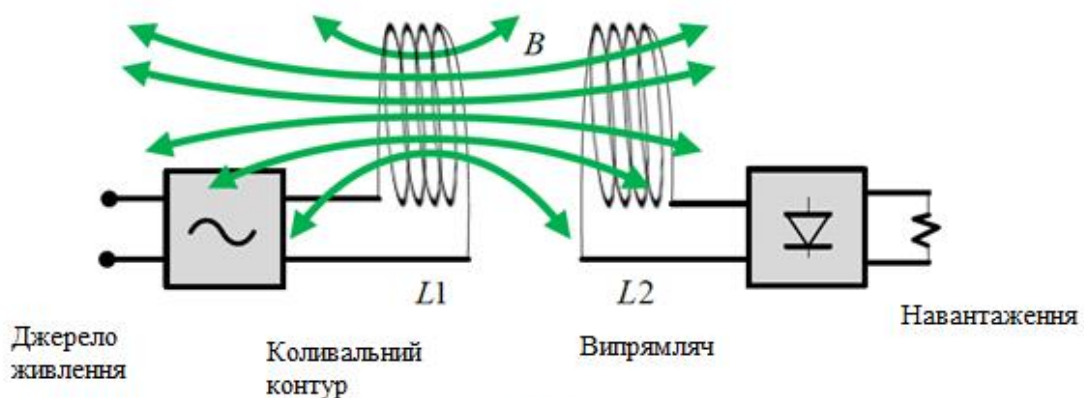


Рисунок 2 – Схема передачі енергії методом магнітної індукції

Метод магнітно-резонансної індукції

Даний метод відрізняється від вищенаведеного методу в тому, що використання резонансу між двома котушками збільшує дальність передачі. Дійсно, при магнітно-резонансній індукції передаюча і приймаюча котушка налаштовані на однакову частоту, тому амплітуда електромагнітних хвиль зростає, отже, передача енергії відбувається більш ефективно, ніж в методі електромагнітної індукції (рис. 3).

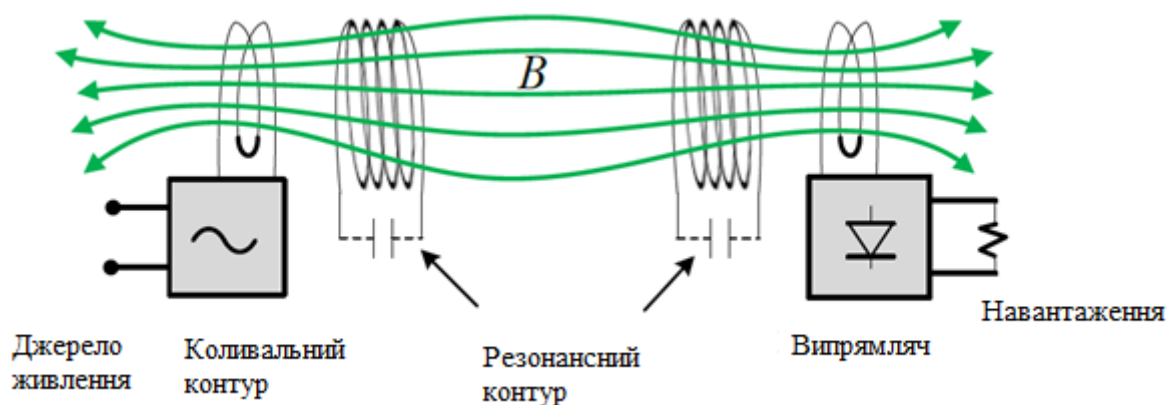


Рисунок 3 – Схема передачі енергії методом магнітно-резонансної індукції

У зв'язку з цим, значна величина потужності передається між двома LC-катушками, налаштованими в резонанс, при відносно невисокому коефіцієнті зв'язку між ними. Зазвичай, передаюча і приймаюча катушка являє собою спіраль або один, або кілька одношарових витків.

Метод електростатичного індукції

Метод електростатичної індукції. Являє собою процес передачі енергії через діелектрик (рис. 4). Метод був вперше застосований Теслою для живлення бездротових ламп по повітря (який є діелектриком). В майбутньому планується, що пристрої будуть отримувати енергію з повітря, за допомогою передавального терміналу. По суті, цей процес схожий з розрядом конденсатора.

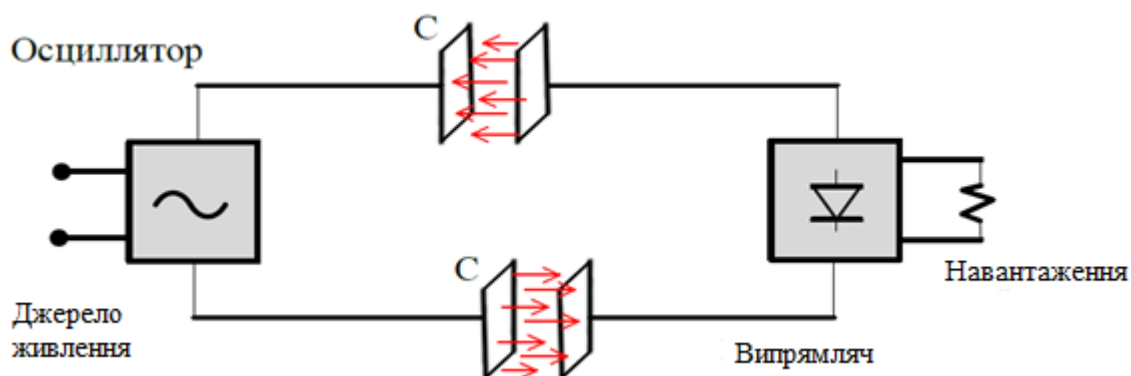


Рисунок 4 – Схема передачі енергії методом електростатичної індукції

Метод мікрохвильового випромінювання

Вчені розраховували, що передавати енергію стає більш ефективно, якщо використовувати менші довжини хвиль. У мікрохвильовому діапазоні для передачі енергії використовується ректенна - пристрій за принципом дії зворотнє випромінюючій антені. Ректенна дозволяє перетворювати енергію з ККД 90-95%. Даний спосіб планується застосовувати для передачі енергії космічним і орбітальним апаратам.

Йдучи в більш високий діапазон частот, вчені знайшли ще один спосіб бездротової передачі енергії - лазерний. Він полягає в передачі енергії за допомогою світлового променя і подальшого його перетворення в електрику в фотодетекторі. До переваг відноситься високе фокусування променя, а до недоліків - низький ККД

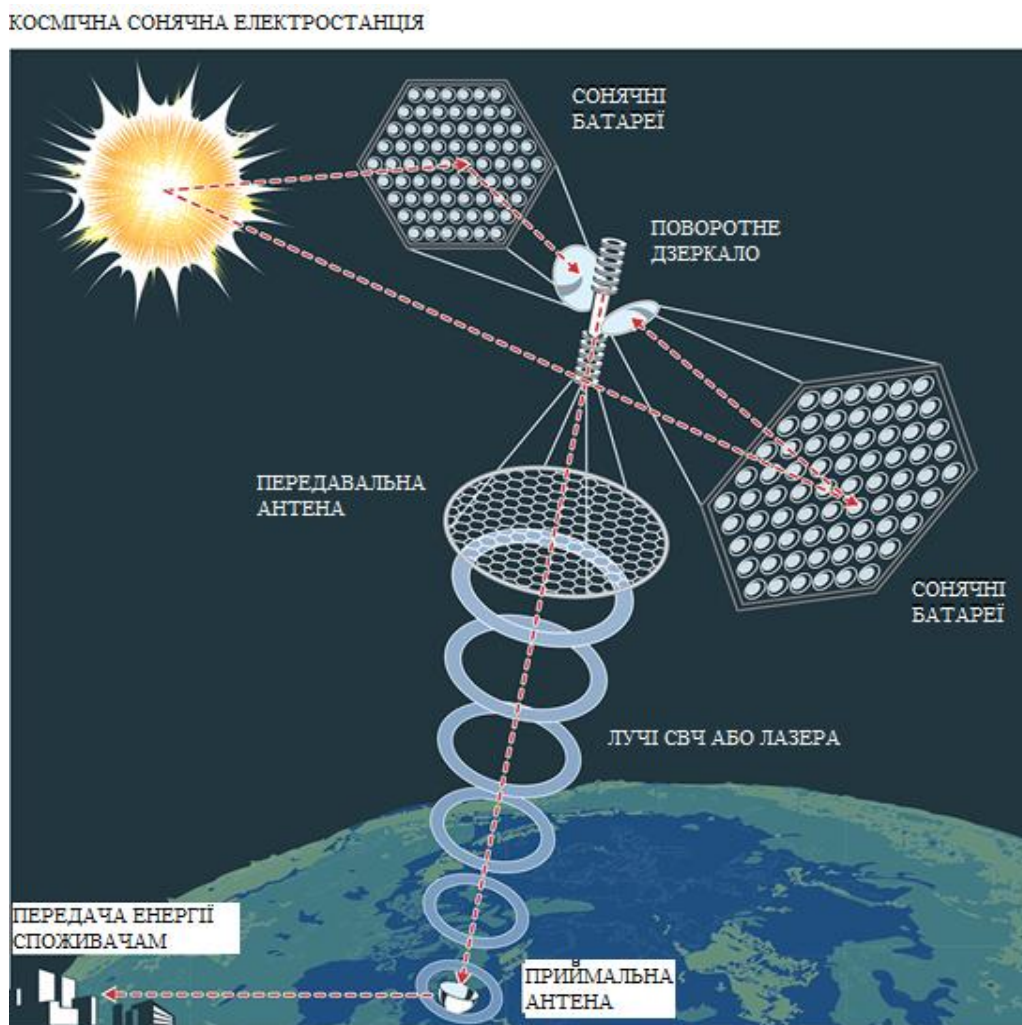


Рисунок 5 - Схема передачі енергії за допомогою електромагнітних випромінювань

2. Розробка схеми на основі явища резонансу.

Вся ідея цієї технології полягає у використанні явища резонансу для досягнення найбільш ефективної передачі енергії на певній відстані, по повітрю. Якщо передавач і приймач індуктивно пов'язані, то відстань між ними має бути мінімальна, інакше ефективність падає зі збільшенням відстані.

Науковим визначенням резонансу є прагнення пристрою коливатися при більш високій амплітуді на певній частоті. Резонансна частота системи знаходиться на своєму піку, і в нашому випадку, максимальна вихідна потужність може бути досягнута, коли джерело і пристрої з'єднані на резонансній частоті. Іншими словами, велика частина енергії передається між двома об'єктами, якщо вони знаходяться на одній і тій же частоті. Розбиття скла при певному високому звуці є дуже хорошою ілюстрацією цієї концепції фізики.

Резонатором є будь-яка система, яка працює на своїй власній частоті (тобто резонансна частота). У нашому прикладі розбитого скла, генератор високого звуку - резонатор, який резонує на певній частоті. В електричному ланцюзі, найпростішим резонатором може бути контур, налаштований на коливання на резонансній частоті, який є нічим іншим, як парою індуктора і конденсатора, налаштованого на певній частоті. Є багато інших способів, щоб зробити схему резонатора з використанням операційних підсилювачів, транзисторів і т.д.

$$w = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

де w - частота резонансу; L - індукція ланцюга; C - ємність ланцюга.

Вибір оптимальної частоти це одне з найскладніших питань. Всі ми знаємо тепер, що для того, щоб передати максимум енергії нам потрібно, щоб приймач і передавач працювали на одній і тій же частоті. Іншими словами, опір приймача і передавача повинні бути узгоджені з метою передачі максимально можливої енергії.

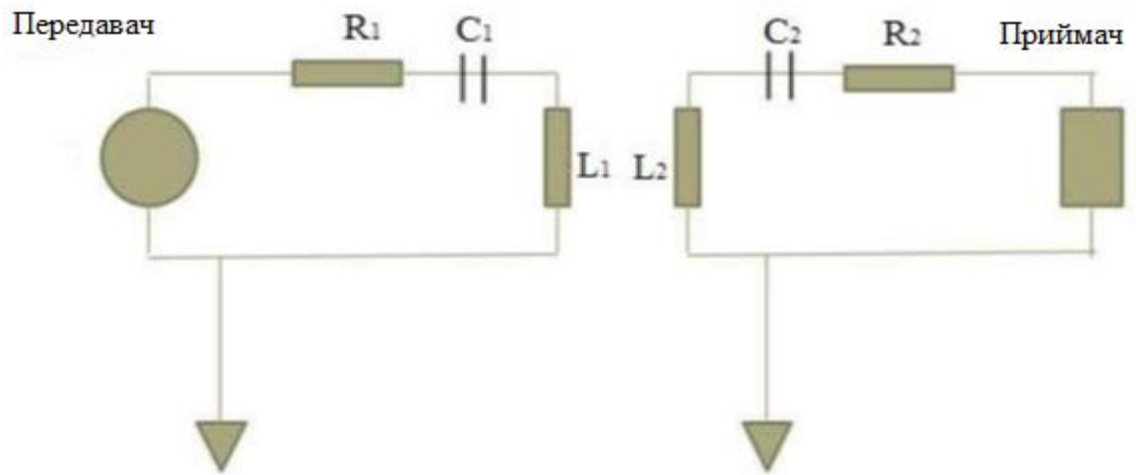


Рисунок 6 – Схема взаємодії передавача і приймача

На рисунку 6: R_1 , R_2 - резистори; L_1 , L_2 - котушки індуктивності; C_1 , C_2 - конденсатори.

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

Період вільних коливань контуру LC можна описати таким чином. Якщо конденсатор ємністю C заряджений до напруги U , потенційна енергія його заряду складе:

$$w_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

де E_c - потенційна енергія заряду; C - ємність конденсатора; U - напруга конденсатора.

Якщо паралельно зарядженого конденсатора підключити котушку індуктивності L , в ланцюзі піде струм його розряду, створюючи магнітне поле в котушці. Магнітний потік, збільшуючись від нуля, створить ЕРС в напрямку протилежному току в котушці, що буде перешкоджати наростанню струму в ланцюзі, тому конденсатор розрядиться не миттєво, а через час t_1 , який визначається індуктивністю котушки і ємністю конденсатора з розрахунку:

$$t_1 = \frac{\pi \sqrt{LC}}{2}$$

Після закінчення часу t_1 , коли конденсатор розрядиться до нуля, струм в котушці і магнітна енергія будуть максимальні.

Накопичена котушкою магнітна енергія в цей момент складе:

$$E_L = \frac{LI^2}{2}$$

В ідеальному розгляді, при повній відсутності втрат в контурі, E_C буде дорівнює E_L . Таким чином, електрична енергія конденсатора перейде в магнітну енергію котушки.

Зміна (зменшення) магнітного потоку накопиченої енергії котушки створить в ній ЕРС, яка продовжить ток в тому ж напрямку і почнеться процес заряду конденсатора індукційним струмом. Зменшуючись від максимуму до нуля протягом часу t_2 дорівнює t_1 , він перезаряде конденсатор від нуля до максимального від'ємного значення (мінус U).

Так магнітна енергія котушки перейде в електричну енергію конденсатора. Описані інтервали t_1 і t_2 складуть половину періоду повного коливання в контурі.

У другій половині процеси аналогічні, тільки конденсатор буде розряджатися від від'ємного значення, а струм і магнітний потік змінять напрямки. Магнітна енергія знову накопичуватиметься в котушці протягом часу t_3 , змінивши полярність полюсів.

Протягом заключного етапу коливання (t_4), накопичена магнітна енергія котушки зарядить конденсатор до початкового значення U (в разі відсутності втрат) і процес коливання повториться.

У реальності, при наявності втрат енергії на активному опорі провідників, фазових і магнітних втрат, коливання будуть затухаючими по амплітуді.

Повний час складе період коливань:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Частота вільних коливань контуру:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Частота вільних коливань є частотою резонансу контуру, на якій реактивний опір індуктивності:

$$X_L = 2\pi fL$$

дорівнює реактивному опору ємності:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Скористаємося явищем резонансу і зберемо схему по малюнку нижче.

3.Котушка «Тесли»

Котушка Тесли представляє собою високочастотний резонансний трансформатор без феромагнітного сердечника, за допомогою якого можна отримати високу напругу на вторинній обмотці. Під дією високої напруги в повітрі відбувається електричне пробиття, подібно розряду блискавки. Пристрій винайдено Ніколою Тесла, і носить його ім'я.

Сама котушка являє собою конструкцію з двох обмоток і тора. Вторинна обмотка циліндрична, намотується на діелектричній трубі мідним обмотувальним проводом, в один шар виток до витка, і має зазвичай 500-1500 витків. Оптимальне співвідношення діаметра і довжини обмотки дорівнює 1: 3,5 - 1: 6. Для збільшення електричної і механічної міцності, обмотку покривають епоксидним клеєм або поліуретановим лаком. Зазвичай розміри вторинної обмотки визначають виходячи з потужності джерела живлення, тобто високовольтного трансформатора. Визначивши діаметр обмотки, з оптимального співвідношення знаходять довжину. Далі підбирають діаметр обмотувального проводу, так щоб кількість витків приблизно дорівнювало загальноприйнятому значенню. Як діелектричні труби зазвичай застосовують каналізаційні пластикові труби, але можна виготовити і саморобну трубу, за допомогою листів креслярського ватману і

епоксидного клею. Тут і далі мова йде про катушки середньої потужності, від 1 кВт і діаметром вторинної обмотки від 10 см.

На верхній кінець труби вторинної обмотки встановлюють порожнистий тор, зазвичай виконаний з алюмінієвої гофрованої труби для відводу гарячих газів. В основному діаметр труби підбирають рівним діаметру вторинної обмотки.

Діаметр тора зазвичай становить 0,5-0,9 м від довжини вторинної обмотки. Тор має електричну ємність, яка визначається його геометричними розмірами, і виступає в ролі конденсатора.

Первинна обмотка розташовується у нижній основі вторинної обмотки, і має спіральну плоску або конічну форму. Зазвичай складається з 5-20 витків товстого мідного або алюмінієвого дроту. В обмотці протікають високочастотні струми, внаслідок чого скін-ефект може мати значний вплив. Через високу частоту струм розподіляється переважно в поверхневому шарі провідника, тим самим зменшується ефективна площа поперечного перерізу провідника, що призводить до збільшення активного опору і зменшення амплітуди електромагнітних коливань. Тому найкращим варіантом для виготовлення первинної обмотки буде порожня мідна трубка, або плоска широка стрічка. Над первинною обмоткою по зовнішньому діаметру іноді встановлюють незамкнуте захисне кільце (Strike Ring) з того ж провідника, і заземлюють. Кільце призначене для запобігання потрапляння розрядів в первинну обмотку. Розрив необхідний для виключення протікання струму по кільцю, інакше магнітне поле, створене індукційним струмом, буде послаблювати магнітне поле первинної і вторинної обмотки. Від захисного кільця можна відмовитися, якщо заземлити один кінець первинної обмотки, при цьому потрапляння розряду не заподіє шкоди компонентам котушки.

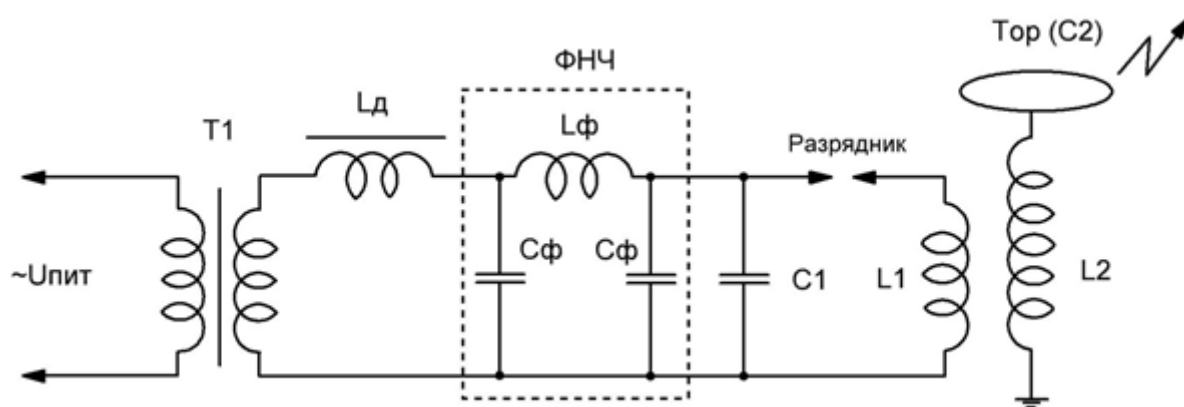


Рисунок 7 - найпростіший варіант котушки Тесла типу ACSGTC.

Принцип дії котушки Тесла заснований на явищі резонансу двох індуктивно зв'язаних коливальних контурів. Первинний коливальний контур складається з конденсатора C_1 , первинної обмотки L_1 , і комутується розрядником, в результаті чого утворюється замкнутий контур. Вторинний коливальний контур утворений вторинною обмоткою L_2 і конденсатором C_2 (тор володіє ємністю), нижній кінець обмотки обов'язково заземлюється. При збігу власної частоти первинного коливального контуру з частотою вторинного коливального контуру, відбувається різке зростання амплітуди напруги і струму у вторинному ланцюзі. При досить високій напрузі відбувається електричний пробій повітря у вигляді розряду, що виходить із тора. При цьому важливо розуміти, що являє собою замкнутий вторинний контур. Струм вторинного контуру тече по вторинній обмотці L_2 і конденсатора C_2 (тор), далі по повітрю і землі (так як обмотка заземлена), замкнутий контур можна описати таким чином: земля-обмотка-тор-розряд-земля. Таким чином, електричні розряди являють собою частину контурного струму. При великому опорі заземлення розряди, які виходять із тора битимуть прямо по вторинній обмотці, що не є дуже гарно, тому потрібно зробити якісне заземлення.

Після того як розміри вторинної обмотки і тора визначені, можна порахувати власну частоту коливань вторинного контуру. Тут треба враховувати, що вторинна обмотка крім індуктивності володіє деякою

ємністю через чималих розмірів, яку треба враховувати при розрахунку, ємність обмотки необхідно скласти з ємністю тора. Далі треба прикинути параметри котушки L_1 і конденсатора C_1 первинного контуру, так щоб власна частота первинного контуру була близька до частоті вторинного контуру. Ємність конденсатора первинного контуру зазвичай становить 25-100 нФ, виходячи з цього, розраховують кількість витків первинної обмотки, в середньому повинно вийти 5-20 витків. При виготовленні обмотки необхідно збільшити кількість витків, в порівнянні з розрахунковим значенням, для подальшого налаштування котушки в резонанс. Розрахувати всі ці параметри можна за стандартними формулами з підручника фізики, також в мережі є книги з розрахунку індуктивності різних котушок. Існують і спеціальні програми калькулятори для розрахунку всіх параметрів майбутньої котушки Тесла.

Налаштування здійснюється шляхом зміни індуктивності первинної обмотки, тобто один кінець обмотки приєднаний до схеми, а інший нікуди не підключається. Другий контакт виконують у вигляді затиску, який можна перекидати з одного витка на інший, тим самим використовується не вся обмотка, а тільки її частина, відповідно змінюється індуктивність, і власна частота первинного контуру. Налаштування виконують під час попередніх запусків котушки, про резонанс судять по довжині розрядів. Існує також метод холодної настройки резонансу за допомогою ВЧ генератора і осцилографа або ВЧ вольтметра, при цьому котушку запускати не треба. Необхідно взяти на замітку, що електричний розряд має ємність, внаслідок чого власна частота вторинного контуру може трохи зменшуватися під час роботи котушки. Заземлення також може надавати невеликий вплив на частоту вторинного контуру.

Розрядник є комутуючим елементом в первинному коливальному контурі. При електричному пробіі розрядника під дією високої напруги, в ньому утворюється дуга, яка замикає ланцюг первинного контуру, і в ньому виникають високочастотні затухаючі коливання, протягом яких напруга на

конденсаторі C_1 поступово зменшується. Після того як дуга гасне, контурний конденсатор C_1 знову починає заряджатися від джерела живлення, при наступному пробі розрядника починається новий цикл коливань.

Розрядник підрозділяється на два типи: статичний і обертаючийся. Статичний розрядник являє собою два близько розташованих електрода, відстань між якими регулюють так щоб електричний пробій між ними відбувався в той час, коли конденсатор C_1 заряджений до найбільшої напруги, або трохи менше максимуму. Орієнтовна відстань між електродами визначають виходячи з електричної міцності повітря, яка становить близько 3 кВ / мм при стандартних умовах навколишнього середовища, а також залежить від форми електродів. Для змінної напруги, частота спрацьовувань статичного розрядника (BPS - beats per second) складе 100 Гц.

Обертаючийся розрядник (RSG - Rotary spark gap) виконується на основі електродвигуна, на вал якого насаджений диск з електродами, з кожного боку диска встановлюються статичні електроди, таким чином, при обертанні диска, між статичними електродами будуть пролітати всі електроди диска. Відстань між електродами роблять мінімальним. У такому варіанті можна регулювати частоту комутацій в широких межах керуючи електродвигуном, що дає більше можливостей по налаштуванню і управлінню котушкою. Корпус двигуна необхідно заземлити, для захисту обмотки двигуна від пробію, при потраплянні надвисокого імпульсу.

Як контурного конденсатора C_1 застосовують конденсаторні збірки (ММС - Multi Mini Capacitor) з послідовно і паралельно з'єднаних високовольтних високочастотних конденсаторів. Зазвичай застосовують керамічні конденсатори типу КВІ-3, а також плівкові К78-2. Останнім часом намічено перехід на паперові конденсатори типу К75-25, які непогано показали себе в роботі. Номінальна напруга конденсаторної збірки для надійності має бути в 1,5-2 рази більше амплітудного значення напруги джерела живлення. Для захисту конденсаторів від перенапруги

(високочастотні імпульси) встановлюють повітряний розрядник паралельно всій збірці. Розрядник може являти собою два невеликих електрода.

В якості джерела живлення для зарядки конденсаторів використовується високовольтний трансформатор T_1 , або кілька послідовно або паралельно з'єднаних трансформаторів. В основному початківці теслаконструктори використовують трансформатор з мікрохвильової печі (МОТ - Microwave Oven Transformer), вихідна змінна напруга якого складає $\sim 2,2$ кВ, потужність близько 800 Вт. Залежно від номінальної напруги контурного конденсатора, МОТи з'єднують послідовно від 2 до 4 штук. Застосування тільки одного трансформатора не доцільно, так як через невелику вихідну напругу зазор в розряднику буде дуже малим, підсумком будуть нестабільні результати роботи котушки. МОТи мають недоліки у вигляді слабкої електроміцності, не розраховані для роботи в тривалому режимі, сильно гріються при великому навантаженні, тому часто виходять з ладу. Більш розумно використовувати спеціальні масляні трансформатори типу ОМ, ОМП, ОМГ, які мають вихідну напругу 6,3 кВ, 10 кВ, і потужність 4 кВт, 10 кВт. Можна також виготовити саморобний високовольтний трансформатор. При роботі з високовольтними трансформаторами не слід забувати про техніку безпеки, висока напруга небезпечна для життя, корпус трансформатора необхідно заземлити. При необхідності послідовно з первинної обмоткою трансформатора можна встановити автотрансформатор, для регулювання напруги зарядки контурного конденсатора. Потужність автотрансформатора повинна бути не менше потужності трансформатора T_1 .

Дросель L_d в ланцюзі живлення необхідний для обмеження струму короткого замикання трансформатора при пробі розрядника. Найчастіше дросель знаходиться в колі вторинної обмотки трансформатора T_1 . Внаслідок високої напруги, необхідна індуктивність дроселя може приймати великі значення від одиниць до десятків Генрі. У такому варіанті він повинен мати достатню електричну міцність. З таким же успіхом дросель можна встановити послідовно з первинною обмоткою трансформатора, відповідно

тут не потрібна висока електрична міцність, необхідна індуктивність на порядок нижче, і становить десятки, сотні мілігенрі. Діаметр обмотувального дроту повинен бути не менше діаметра дроту первинної обмотки трансформатора. Індуктивність дроселя розраховують з формули залежності індуктивного опору від частоти змінного струму.

Фільтр низької частоти (ФНЧ) призначений для виключення проникнення високочастотних імпульсів первинного контуру в ланцюг дроселя і вторинної обмотки трансформатора, тобто для їх захисту. Фільтр може бути Г-утворюючий або П-утворюючий. Частоту зрізу фільтра вибирають на порядок менше резонансної частоти коливальних контурів котушки, але при цьому частота зрізу повинна бути набагато більше частоти спрацьовування розрядника.

Замість стандартної схеми випрямлення і згладжування можна зібрати подвоювач напруги з двох діодних стовпів і двох конденсаторів.

Принцип роботи схеми резонансного заряду заснований на явищі самоіндукції дроселя L_d , а також застосування діода відсічення VD_0 . У момент часу, коли конденсатор C_1 розряджений, через дросель починає текти струм, зростаючи за синусоїдальним законом, при цьому в дроселі накопичується енергія у вигляді магнітного поля, а конденсатор при цьому заряджається, накопичуючи енергію у вигляді електричного поля. Напруга на конденсаторі зростає до напруги джерела живлення, при цьому через дросель тече максимальний струм, і падіння напруги на ньому дорівнює нулю. При цьому струм не може припинитися миттєво, і продовжує текти в тому ж напрямку через наявність самоіндукції дроселя. Зарядка конденсатора триває до подвоєного значення напруги джерела живлення. Діод відсічення необхідний для запобігання перетікання енергії від конденсатора назад в джерело живлення, так як між конденсатором і джерелом живлення з'являється різниця потенціалів рівна напрузі джерела живлення. Насправді напруга на конденсаторі не досягає подвоєного значення, через наявність падіння напруги на діодному стовпі.

Застосування резонансного заряду дозволяє більш ефективно і рівномірно передавати енергію на первинний контур, при цьому для отримання однакового результату (по довжині розряду), для DCSGTC потрібна менша потужність джерела живлення (трансформатор T_1), ніж для ACSGTC. Розряди набувають характерного плавний вигин, внаслідок стабільного напруги живлення, на відміну від ACSGTC, де чергове зближення електродів в RSG може припадати по часу на будь-яку ділянку синусоїдальної напруги, включаючи потрапляння на нульове або низька напруга і як наслідок змінна довжини розряду (рваний розряд).

4. Порядок виконання роботи.

- 1) Ознайомитися з інструкцією до роботи і моделлю, зібраної на лабораторному стенді.
- 2) Встановити котушку-джерела і котушку-приймача на відстані (L) 1 м один від одного.
- 3) Подати живлення на котушку-джерело, заміряти значення струму (I) і напруги (U) наведених на навантаженні.
- 4) Змінюючи відстань L від 1 м до 0.5 м з кроком 0.1 м, провести заміри I і U , дані внести в таблицю.
- 5) За отриманими значеннями побудувати графіки залежності $I = f(L)$ і $U = f(L)$.

5. Зміст звіту.

- 1) Мета роботи.
- 2) Схема стенду.
- 3) Результати досліджень на лабораторному стенді.
- 4) Побудовані графіки залежності $I = f(L)$ і $U = f(L)$.
- 5) Висновки, за результатами проведених досліджень.

Контрольні питання.

- 1) Види бездротової передачі, їх переваги та недоліки.
- 2) Явище резонансу, можливість застосування його для бездротової передачі електричної енергії.
- 3) Параметри, що впливають на налаштування котушки Тесла для отримання максимального ККД.
- 4) Способи регулювання параметрів котушки Тесла для отримання максимального ККД.

Список літератури.

1. Стребков Д. С., Некрасов А. И. Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. – М. : ВИАЭСХ, 2008.
2. The Ultimate Tesla Coil Design And Construction Guide / Mitch Tilbury. - The McGraw-Hill Companies, Inc. - 2008. - 413 p.
3. Грибков А. С. и др. Перспективы использования беспроводной передачи электрической энергии в космических транспортных системах //Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2009. – №. 2. – С. 118-123.
4. Трунев А. П. Скалярные волны и беспроводная передача электричества //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 93.
5. Nikola Tesla. The Problem of Increasing Human Energy. Century Magazine 1900.